

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5367549号
(P5367549)

(45) 発行日 平成25年12月11日(2013.12.11)

(24) 登録日 平成25年9月20日(2013.9.20)

(51) Int.Cl.

G O 1 N 23/201 (2006.01)

F I

G O 1 N 23/201

請求項の数 5 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2009-277455 (P2009-277455)	(73) 特許権者	000003078
(22) 出願日	平成21年12月7日(2009.12.7)		株式会社東芝
(65) 公開番号	特開2011-117894 (P2011-117894A)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43) 公開日	平成23年6月16日(2011.6.16)	(74) 代理人	100089118
審査請求日	平成24年2月28日(2012.2.28)		弁理士 酒井 宏明
		(72) 発明者	石橋 康彦
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
		審査官	藤田 都志行

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 基板計測方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

周期的構造を構成する単位構造体の形状に関する形状パラメータから注目パラメータを選択し、前記単位構造体の形状を計測するための計測条件を前記注目パラメータに応じて決定する工程と、

決定された前記計測条件に従い、前記周期的構造が形成された基板上の基準面に平行な面内における方位角を変化させながら、前記周期的構造へ電磁波を入射させる工程と、

前記周期的構造での反射により、前記基準面に平行な方向である方位角方向と、前記基準面に垂直な方向である仰角方向とへ散乱した前記電磁波を検出する工程と、を含み、

前記計測条件は、

前記周期的構造での反射による前記電磁波の散乱強度の分布を表す散乱プロファイルの算出と、

前記注目パラメータの値を変化させるごとの前記散乱プロファイルを比較した比較結果に応じた最適化と、

を経て決定されることを特徴とする、基板計測方法。

【請求項 2】

前記計測条件は、前記周期的構造へ前記電磁波を入射させる前記方位角の変化に対して、前記電磁波を入射させる積算時間の重み付けを調整することにより最適化されることを特徴とする請求項 1 に記載の基板計測方法。

【請求項 3】

10

20

前記注目パラメータとして、前記単位構造体の幅、前記単位構造体の前記基準面からの高さ或いは深さ、前記単位構造体の側壁部と前記基準面とがなす側壁角、前記単位構造体のうち前記基準面側のボトムラウンディング、及び前記基準面側とは反対側のトップラウンディング、のいずれかを選択することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の基板計測方法。

【請求項 4】

前記周期的構造で散乱した前記電磁波の検出に、前記電磁波を検出する検出素子を二次元方向へ配列させた検出器を用いることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の基板計測方法。

【請求項 5】

前記電磁波を射出する電磁波射出部と、前記電磁波を検出する検出器との少なくとも一方を、前記方位角方向および前記仰角方向の少なくとも一方へ変位させることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の基板計測方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、基板計測方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体集積回路は、高性能化の達成のために、回路パターンの微細化が進行している。回路パターンの微細化に伴って、回路パターンの計測に要求される精度は厳しさを増している。従来の半導体プロセスでは、周期的構造を構成する単位構造体について、主に幅や高さなど、比較的大まかな寸法が管理の対象とされてきた。その一方で、回路パターンの微細化が進行するに従って、側壁角、トップラウンディングと呼ばれる単位構造体上部の丸み、ボトムラウンディングと呼ばれる単位構造体下部の丸みなど、形状の詳細な寸法についても厳密に計測する必要が生じている。

【0003】

構造体の断面形状を精密に観察するものとして、例えば、走査型電子顕微鏡（断面 SEM）、透過型電子顕微鏡（TEM）、原子間力顕微鏡（AFM）、スカトロメトリ、CD-SAXS（Critical Dimension Small Angle X-ray Scattering）が知られている。これらのうち、X線小角散乱を利用して表面形状を計測するCD-SAXSは、非破壊及び非接触で、微細形状に対する良好な感度を得られる観点から、微細な回路パターンの計測に適しているといえる。

【0004】

例えば、特許文献 1 には、X線のスペクトルの信頼性を評価し、補正するX線分析方法及びX線分析システムの技術が提案されている。かかる技術では、X線強度を蓄積する積算時間を分割し、スペクトル中のピーク強度の時間変化をモニタすることにより、スペクトルの信頼性を評価する。

【0005】

CD-SAXSでは、一般に、光源としてX線管球が用いられている。X線管球では、周期的構造で散乱した光の強度分布を観測可能な程度の光強度を得るには、通常、長い積算時間の光照射を要することとなる。このため、計測に高い精度が要求されるほど長い計測時間を要することとなり、基板計測のトータルでのスループット悪化を招くこととなる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開 2003 - 254920 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 7 】

本発明は、微細な周期的構造について高精度かつ高スループットでの形状計測を実現するための基板計測方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

本願発明の一態様によれば、周期的構造を構成する単位構造体の形状に関する形状パラメータから注目パラメータを選択し、前記単位構造体の形状を計測するための計測条件を前記注目パラメータに応じて決定する工程と、決定された前記計測条件に従い、前記周期的構造が形成された基板上の基準面に平行な面内における方位角を変化させながら、前記周期的構造へ電磁波を入射させる工程と、前記周期的構造での反射により、前記基準面に平行な方向である方位角方向と、前記基準面に垂直な方向である仰角方向とへ散乱した前記電磁波を検出する工程と、を含み、前記計測条件は、前記周期的構造での反射による前記電磁波の散乱強度の分布を表す散乱プロファイルの算出と、前記注目パラメータの値を変化させるごとの前記散乱プロファイルを比較した比較結果に応じた最適化と、を経て決定されることを特徴とする、基板計測方法が提供される。

10

【発明の効果】

【 0 0 0 9 】

本発明によれば、微細な周期的構造について高精度かつ高スループットでの形状計測を実現できるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

20

【 0 0 1 0 】

【図 1】図 1 は、第 1 の実施の形態にて使用される基板計測装置の構成を示す模式図である。

【図 2】図 2 は、検出器の斜視概略構成を示す図である。

【図 3】図 3 は、半導体基板及びラインパターンの一部分の断面模式図である。

【図 4】図 4 は、単位構造体の形状を計測するための計測条件を注目パラメータに応じて決定する手順を示すフローチャートである。

【図 5】図 5 は、図 4 に示す手順により作成された計測レシピを使用した基板計測の手順を示すフローチャートである。

【図 6】図 6 は、方位角方向についての散乱プロファイルの例を示す図である。

30

【図 7】図 7 は、仰角方向についての散乱プロファイルの例を示す図である。

【図 8】図 8 は、第 2 の実施の形態にて使用される基板計測装置の構成を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 1 】

以下に添付図面を参照して、本発明の実施の形態に係る基板計測方法を詳細に説明する。

【 0 0 1 2 】

(第 1 の実施の形態)

図 1 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る基板計測方法の実施に使用される基板計測装置の構成を示す模式図である。本実施の形態に係る基板計測方法は、基板上の周期的構造で散乱させた X 線による干渉パターンから、パターン形状を再構築する手法を採用する。基板計測装置は、X 線光源 3 及び検出器 4 を含む光学系と、サンプルである基板が載置され回転するステージ 5 とを備える。図 1 のうち (a) は、基板計測装置の側面構成、(b) は基板計測装置を上から見た平面構成を示す。

40

【 0 0 1 3 】

ステージ 5 上には、ラインパターンが形成された半導体基板 1 が載置される。周期的構造であるラインパターンは、複数の単位構造体 2 で構成されている。単位構造体 2 は、所定方向を長手方向とするライン状に形成されている。ここで、半導体基板 1 のうちラインパターンが形成された面を基準面とする。ステージ 5 は、基準面に平行な面内において回

50

転可能に構成されている。

【 0 0 1 4 】

X線光源3は、例えば、0.05nmから0.5nmのうちのいずれかを波長とするX線を射出する。X線光源3は、基板計測のための電磁波を射出する電磁波射出部として機能する。X線光源3は、例えば、CuのK線を発生させる管球と、発生させたX線を平行化させる凹面鏡とを備える。X線光源3は、基準面に対してX線が例えば0.4度以下の傾きをなすように配置されている。

【 0 0 1 5 】

図2は、検出器4の斜視概略構成を示す図である。検出器4は、二次元方向へ配列させた複数の受光部6を備える。受光部6は、X線を検出する検出素子として機能する。検出器4は、二次元方向におけるX線の強度分布を検出する。検出器4は、ラインパターンから広く散乱したX線を検出可能とするために、ステージ5上の半導体基板1から十分離れた位置に配置される。

10

【 0 0 1 6 】

図3は、半導体基板1及びラインパターンの一部分の断面模式図である。図示する断面は、単位構造体2の長手方向に垂直な面とする。本実施の形態は、単位構造体2の形状に関する形状パラメータを計測対象とする。形状パラメータは、図示する断面における幅(CD)、基準面sから最上部までの高さ(HT)、側壁部7と基準面sとがなす側壁角(SWA)、トップラウンディング及びボトムラウンディングとする。

【 0 0 1 7 】

トップラウンディングは、単位構造体2のうち基準面s側とは反対側の肩落ち状部分8の曲率あるいは曲率半径とする。ボトムラウンディングは、単位構造体2のうち基準面s側の裾引き状部分9の曲率あるいは曲率半径とする。側壁部7は、肩落ち状部分8及び裾引き状部分9の間の壁状部分である。

20

【 0 0 1 8 】

ラインパターンに照射させたX線は、ラインパターンでの反射によって散乱する。ここで、基準面sに平行な面内における角度を方位角、基準面sに垂直な面内における角度を仰角とする。X線は、単位構造体2の長手方向に対して平行に近い方位角、かつ例えば0.4度程度の仰角をなすように、ラインパターンへ入射させる。ラインパターンで散乱したX線同士が干渉することにより、方位角方向(基準面sに平行な方向)に回折ピークが現れ、仰角方向(基準面sに垂直な方向)には回折ピークごとに干渉縞が現れる。

30

【 0 0 1 9 】

散乱プロファイルは、ラインパターンでの反射によるX線の散乱強度の分布を表す。干渉縞を含む散乱プロファイルは、光学条件及びパターン情報を基にして計算することが可能である。光学条件とは、ラインパターンへ入射するX線の波長、入射方位角、入射仰角、ラインパターンから散乱するX線の散乱方位角及び散乱仰角とする。パターン条件とは、ラインパターンの材料及び断面形状とする。断面形状とは、単位構造体2の断面の輪郭形状であって、CD、HT、SWA、トップラウンディング及びボトムラウンディングの各形状パラメータの関数として表される。X線の散乱プロファイルは、かかる断面形状を表す関数をフーリエ変換することにより算出される。

40

【 0 0 2 0 】

形状パラメータの値を変化させると、干渉縞におけるX線の強度、干渉縞の周期や形状が変化することにより、散乱プロファイルには差異が生じる。散乱プロファイルにおける違いの現れ方には、値を変化させる形状パラメータごとに特徴が見られる。形状パラメータから選択された注目パラメータのみを変数とし、他の形状パラメータを固定値とする複数の散乱プロファイルと比較すると、散乱プロファイルのうち変化が見られる回折プロファイル領域(例えば回折次数や散乱角の範囲)が割り出される。本実施の形態では、散乱プロファイルの中で注目パラメータの値の変化に対して変化が生じ易く高い感度を示す回折プロファイル領域を抽出し、注目パラメータに特化した計測条件を決定する。

【 0 0 2 1 】

50

図4は、単位構造体2の形状を計測するための計測条件を注目パラメータに応じて決定する手順を示すフローチャートである。ステップS1では、シミュレーションの対象とする単位構造体2の断面形状を設定する。断面形状の設定においては、CD、HT、SWA、トップラウンディング及びボトムラウンディングの各形状パラメータのうちの一つを注目パラメータとして選択し、他の形状パラメータには固定値を設定する。注目パラメータについては、数値範囲及び間隔、あるいは複数の数値として指定する。例えばボトムラウンディングを注目パラメータとする場合、10nmから1nm刻みの曲率半径などと指定する。

【0022】

ステップS2では、ステップS1での設定に基づくシミュレーションにより、注目パラメータの値を変化させるごとの散乱プロファイルを算出する。ステップS3では、ステップS2で算出された散乱プロファイルを比較し、注目パラメータに対して感度が出易い回折プロファイル領域を抽出する。ステップS4では、ステップS3での比較結果に応じて、計測条件とする計測範囲及び積算時間の最適化を行う。ステップS5では、ステップS4において最適化された計測範囲及び積算時間が反映された計測レシピを作成する。

【0023】

例えば、トップラウンディングやボトムラウンディングを注目パラメータとする場合、高次回折線、高散乱角のプロファイル領域に違いが現れる傾向にある。高次回折線は強度が小さいことから、S/N(信号対ノイズ比)を稼ぐためにある程度長めの積算時間が必要となる。単位構造体2の長手方向を方位角0度とすると、通常の基板計測は、方位角0度から、5度以上、例えば10度程度までを計測範囲として実施される。例えば、方位角0度から5度の計測範囲では積算時間を長くし、5度以上の計測範囲については積算時間を短くするような重み付けをすることで、基板計測におけるS/N(信号対ノイズ比)の劣化を低減させるとともに計測時間の短縮を図れる。

【0024】

また、HTを注目パラメータとする場合は、一次回折線のプロファイル領域に違いが現れる傾向にあることから、低次回折線のための計測とすれば十分となる。低次回折線、特に一次回折線については、検出される強度が大きいことから、積算時間の短縮や計測範囲の縮小が可能となる。これにより、基板計測において良好なS/Nを得るとともに計測時間の短縮を図れる。低次回折線を検出するには、ラインパターンへ入射させるX線の仰角は例えば0.4度以下に調整される。

【0025】

X線を入射させる積算時間は、ラインパターンへX線を入射させる方位角の変化に対する重み付けを調整することにより最適化される。注目パラメータに対して高感度な回折プロファイル領域については積算時間を長くする重み付けにより、S/Nの劣化を低減させる。積算時間の重み付けをすることで、感度の低い回折プロファイル領域における積算時間を短縮させる。方位角方向における計測範囲は、抽出された回折プロファイル領域について十分な感度を得られるように適宜調整することにより最適化される。このように、必要な計測感度に応じて計測範囲や積算時間を調整することにより、微細な周期的構造のうち注目している形状パラメータについて、高精度、高スループットな計測が可能となる。

【0026】

方位角方向の計測範囲として、例えば、CDについては0度から3.5度、高さ(あるいは深さ)については0.1度から0.25度、トップラウンディング及びボトムラウンディングについては0度から2.5度において、それぞれ十分な感度を得ることが可能となる。このような傾向を基に、注目している形状パラメータごとに最適化された計測条件が決定される。

【0027】

図5は、図4に示す手順により作成された計測レシピを使用した基板計測の手順を示すフローチャートである。ステップS11では、半導体基板1についての散乱プロファイルの実測値を取得する。半導体基板1が載置されたステージ5を回転させながらラインパタ

10

20

30

40

50

ーンへX線を入射させることで、ラインパターンに対するX線の入射方位角を変化させる。ラインパターンに対するX線の入射方位角を変化させることにより、さまざまな回折条件での散乱光が取得可能となる。計測レシピには、ステージ5を回転させる方位角範囲と回転速度とが対応付けられて指定されている。

【0028】

検出器4は、ラインパターンで反射し方位角方向と仰角方向とへ散乱したX線を検出する。検出器4によるX線の検出結果からは、X線の強度分布を表す二次元散乱強度画像が作成される。検出器4の各受光部6では、入射したX線による露光を継続させることで、X線による信号強度が積算される。X線の二次元散乱強度画像は、計測レシピに基づいて積算時間が変わると共にコンピュータに取り込まれ、単位時間当たりの強度分布に変換される。かかる単位時間当たりの強度分布を加算することにより、注目した形状パラメータについて高感度な二次元散乱強度画像を得られる。

10

【0029】

得られた二次元散乱強度画像は、方位角方向と仰角方向とに分けられ、それぞれの方向についての散乱プロファイルとして算出される。図6は、方位角方向についての散乱プロファイルの例を示す図である。方位角方向についての散乱プロファイルは、水平面内における散乱強度の分布を表し、ラインパターンのピッチ幅を反映した回折ピークが現れる。図7は、仰角方向についての散乱プロファイルの例を示す図である。仰角方向についての散乱プロファイルは、垂直方向における散乱強度を表し、ラインパターンの高さを反映した干渉縞が現れる。仰角方向についての散乱プロファイルは、回折ピークごとに得られる。

20

【0030】

次に、ステップS12では、ステップS11において実測値として得られた散乱プロファイルと、計算によって得られた散乱プロファイルとのフィッティングを行う。CDについては、方位角方向の散乱プロファイルによるフィッティングを行う。HT、SWA、トップラウンディング及びボトムラウンディングについては、仰角方向の散乱プロファイルによるフィッティングを行う。方位角方向の散乱プロファイルによるフィッティングと、仰角方向の散乱プロファイルによるフィッティングとは、交互に行われる。

【0031】

実測値と計算値とで散乱プロファイルが一致しない場合(ステップS12、No)、ステップS13において、形状パラメータの値を変更させた断面形状を設定する。ステップS14では、ステップS13において設定された断面形状についてのシミュレーションにより、散乱プロファイルを計算する。そして、断面形状を再設定して計算された散乱プロファイルを用いて、ステップS12によるフィッティングがなされる。

30

【0032】

実測値と計算値とで散乱プロファイルが一致(ステップS12、Yes)することにより、各形状パラメータは最適化される。最適化されたときの各形状パラメータの値を、計測値と決定する(ステップS15)。以上により、本実施の形態での手法による計測を終了する。注目する形状パラメータに対して感度が出易い回折プロファイル領域を割り出し、方位角方向における計測範囲に対する回転速度を加減することで、感度が高くなる計測範囲では計測時間を長く確保し、それ以外では計測時間を短縮させる。これにより、注目する形状パラメータに特化した、高精度かつ高スループットな形状計測が可能となる。高精度な形状計測により、基板の製造歩留まりを向上させることができる。

40

【0033】

なお、本実施の形態は、サンプルの周期的構造がラインパターンである場合に限られず、周期的構造をなすいずれのパターンであっても良い。周期的構造は、例えば、二次元方向へ配列された二次元パターンやホールパターン等であっても良い。本実施の形態に係る基板計測方法は、いずれのパターン周期の周期的構造に適用しても良い。本実施の形態は、特に、微細な周期的構造、例えば30nm以下のパターン周期をなす周期的構造の計測に有用である。基板計測に使用される電磁波は、X線である場合に限られず、散乱光の干

50

渉により回折パターンを生じさせるものであればいずれの波長の電磁波であっても良い。

【 0 0 3 4 】

計測対象とする形状パラメータは、本実施の形態で説明するものに限られない。形状パラメータとしては、C D、H T、S W A、トップラウンディング及びボトムラウンディングの他、基準面 s からの深さ、ラインエッジラフネス、ライン幅ラフネス、高さラフネス等を採用しても良い。これらの各形状パラメータは、断面形状の関数に用いることが可能であって、いずれも注目パラメータとして選択可能である。

【 0 0 3 5 】

(第 2 の実施の形態)

本発明の第 2 の実施の形態は、電磁波射出部と検出器とを、方位角方向及び仰角方向へ変位させることを特徴とする。上記第 1 の実施の形態と同一の部分には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【 0 0 3 6 】

図 8 は、本実施の形態に係る基板計測方法の実施に使用される基板計測装置の構成を示す模式図である。基板計測装置は、X 線光源 1 1 及び検出器 1 2 を含むゴニオ式光学系と、サンプルである基板が載置されるステージ 5 とを備える。図 8 のうち (a) は、基板計測装置の側面構成、(b) は基板計測装置を上から見た平面構成を示す。X 線光源 1 1 及び検出器 1 2 は、いずれも方位角方向及び仰角方向へ変位可能に構成されている。検出器 1 2 は、一点において X 線を検出するように受光部が設けられている。ステージ 5 は、方位角方向について回転させず、固定されている。基板計測装置は、計測条件に基づいて X 線光源 1 1 及び検出器 1 2 を位置調整及び変位速度調整するための機構を備える。

【 0 0 3 7 】

X 線光源 1 1 は、単位構造体 2 の長手方向に X 線が平行 (X 線の入射方位角が 0 度) となる位置を基準として方位角方向へ移動する。X 線光源 1 1 及び検出器 1 2 は、入射方位角と散乱方位角とがパターンピッチに応じて決定される回折角となり、かつ入射仰角と散乱仰角とが一定となるように相対移動させる。かかる計測により、方位角方向の散乱パターンが取得される。また、仰角方向の散乱パターンは、回折次数ごとに入射仰角と散乱仰角とが調整された計測により、取得される。方位角方向における計測範囲と積算時間とは、第 1 の実施の形態と同様のシミュレーションによって最適化されている。

【 0 0 3 8 】

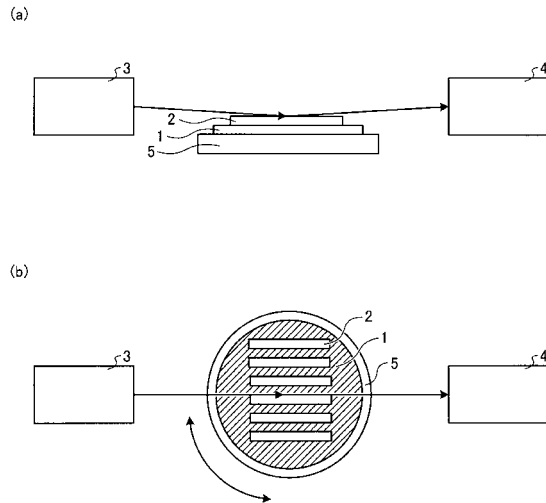
検出器 1 2 により検出された X 線強度と、X 線の入射角及び散乱角とを照合することにより、X 線の散乱プロファイルが作成される。角度による積算時間の違いに対しては、計測条件に応じた規格化等により、散乱プロファイルが連続的に接続するような補正をしても良い。本実施の形態においても、注目する形状パラメータに特化した、高精度かつ高スループットな形状計測が可能となる。本実施の形態は、電磁波射出部と検出器との少なくとも一方を、方位角方向及び仰角方向の少なくとも一方へ変位させることとすれば良く、適宜変形しても良い。例えば、検出素子を二次元方向へ並列させた検出器 4 (図 2 参照) を用いることとし、X 線光源 1 1 のみを方位角方向及び仰角方向へ変位させることとしても良い。

【 符号の説明 】

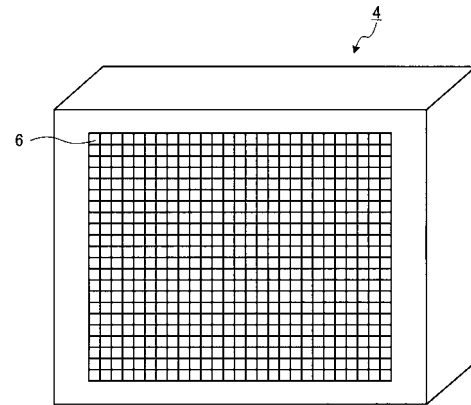
【 0 0 3 9 】

1 半導体基板、2 単位構造体、3、1 1 X 線光源、4、1 2 検出器、5 ステージ、7 側壁部、s 基準面。

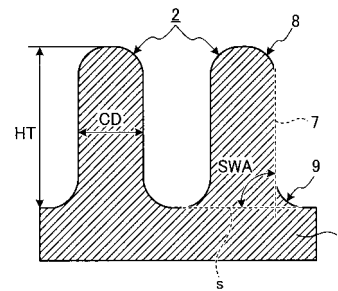
【図 1】



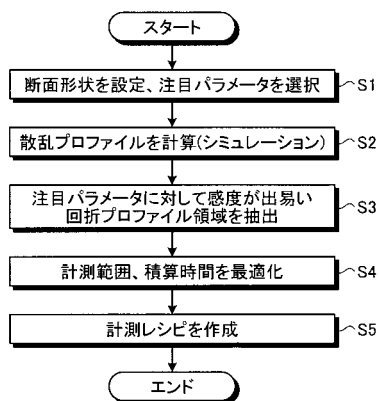
【図 2】



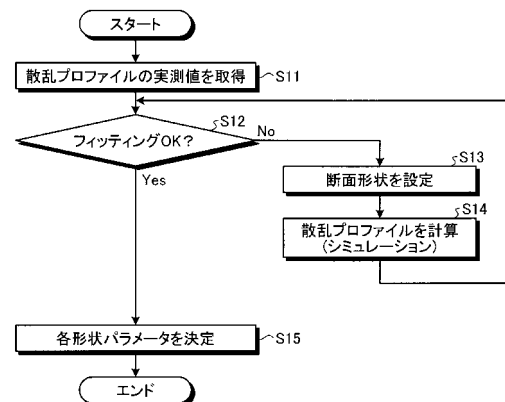
【図 3】



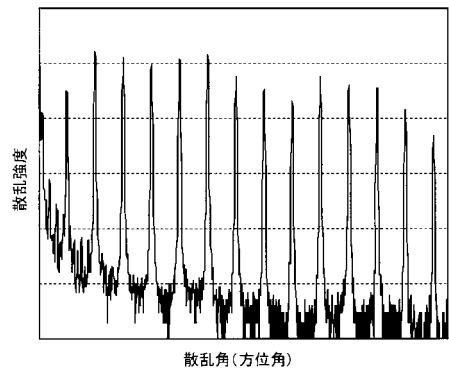
【図 4】



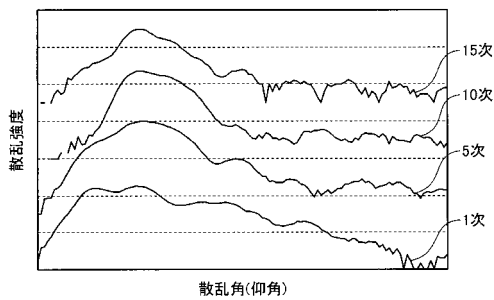
【図 5】



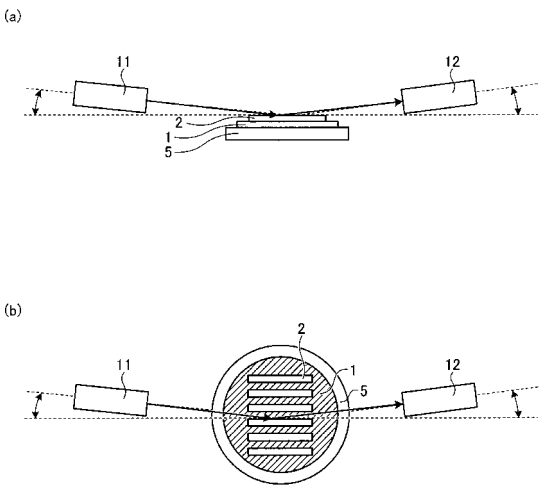
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2005-121613(JP,A)
特開2004-245840(JP,A)
再公表特許第2007/026461(JP,A1)
雨宮 慶幸,篠原 佑也,「X線小角散乱の基礎と今後の展開」,放射光,日本放射光学会,2006年11月30日,Vol. 19, No. 6, p. 338-348
Yoshiyasu ITO, et.al., "Characterization of Submicron-scale Periodic Grooves by Grazing Incidence Ultra-small-angle X-ray Scattering", Japanese Journal of Applied Physics, The Japan Society of Applied Physics, 2007年 8月10日, Vol. 46, No. 32, p. L773-L775

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 23/201
JSTPlus(JDreamIII)
Cinii